

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

EHOLOKACIJA I KOMUNIKACIJA ŠIŠMIŠA

ECHOLOCATION AND COMMUNICATION OF BATS

SEMINARSKI RAD

Paula Počanić

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: prof. Milorad Mrakovčić

SADRŽAJ

UVOD	3
EVOLUCIJA EHOLOKACIJE	4
IZVEDBA EHOLOKACIJE.....	5
OSOBINE ZVUKOVA EHOLOKACIJE	6
VREMENSKI ASPEKT	6
FREKVENCIJA.....	6
RAZLIKOVANJE PREDMETA.....	9
VELI INA PREDMETA	9
MATERIJAL I OBLIK	9
STRUKTURA PODLOGE I „BOJE JEKE“	10
RAZNOLIKOST I RAZNOLIKA UPOTREBA EHOLOKACIJSKIH ZVUKOVA	11
MORFOLOGIJA LICA I UŠKI U ULOZI EHOLOKACIJE	12
ADAPTACIJE NA RAZLI ITE BIOTOPE	13
(Gerhard Neuweiler: The Biology of Bats).....	14
OTVORENI PROSTORI.....	15
RUBNI PROSTORI.....	15
ZATVORENI PROSTORI	16
ZAKLJU AK.....	17
LITERATURA:	18
SAŽETAK	19
SUMMARY	20

UVOD

Eholokacija je princip navigacije, kojom se koriste neke skupine životinja u komunikaciji, snalaženju u prostoru ili pak lovu. Zasniva se na zvukovima koje proizvodi sama životinja te na jeci koja se vraća iz okoliša. Morfološki izgled šišmiša podreda Microchiroptera podređen je što boljem korištenju eholokacije. Upravo zbog toga, eholokacija ne omogućava šišmišima samo kretanje po mraku, već i percepciju neke druge životinje u njihovoj blizini, njezinu veličinu, oblik ili pak teksturu površine iznad koje lete ... Iz tih razloga puno bolji termin za eholokaciju bio bi ehopercepcija. (www.ucmp.berkeley.edu)

Talijanski biolog Lazzaro Spallanzani, prvi je otkrio eholokaciju. Svoja istraživanja započeo je na sovmama, koje su konstantno odbijale letjeti u mraku. Kada je za isti pokus upotrijebio šišmiše, oduševilo ga je njihovo snalaženje mrakom prostorom. Čak i kada ih je oslijepio žarom iglom, uspjeli su izbjeći sve žice sa zvonima, te su se dokazali kao veoma precizni noćni letači. Spallanzani se nakon toga odlučio usredotočiti na njihov sluh, a ne vid, te im je ugradio mjedene cijevi u ušne kanale. Dok su cijevi bile zatvorene, te tako onemogućavale ulaz zvuka u uho, šišmiši su izgubili svoju moć orijentacije, dokazavši to zabijanjem u obješena zvana. Kada su poklopci cijevi bili otvoreni, šišmiši su ponovno zadobili orijentaciju. Zvukove koje su proizvodili, Spallanzani nije mogao čuti pa nije u potpunosti uspio objasniti eholokaciju, no njegovo je otkriće zainteresirao mnoge kasnije znanstvenike da istraže tu misteriju.

Tek nakon 150 godina, dva su znanstvenika zasebno otkrila tajnu eholokacije. Godine 1938. D. Griffin je u laboratoriju kolege fizičara otkrio da prvi ultrazvučni mikrofoni otkrivaju visoke frekvencije kojima se glasaju šišmiši. Upravo je to otkriće omogućilo daljnja proučavanja eholokacije i promijenilo do tada uvriježeno mišljenje o šišmišima kao tihim životinjama.

(Neuweiler G.: The Biology of Bats)

EVOLUCIJA EHOLOKACIJE

Znanstvenik Gould je smatrao da su se sonarni impulsi, prete a ehokacije, razvili kao oblik komunikacije me u jedinkama iste vrste. Prvenstveno ih je koristila mladun ad šišmiša za komunikaciju s ostalim jedinkama te za odre ivanje udaljenosti od njih. Tako er su je koristili kao orijentaciju za smjer kretanja, dok je upotreba ehokacije u svrhe lova bila tek njena sekundarna uloga. Mišljenja je da su sposobnost ehokacije šišmiši „naslijedili“ od svojih insektivornih predaka, koji ih i danas koriste za komunikaciju.

Drugi znanstvenik, Fenton. došao je do zaklju ka kako su prete e šišmiša bile male nokturalne lete e životinje koje su ehokaciju prvenstveno koristile za orijentaciju u prostoru. One su koristile primitivan tip ehokacije zasnovan na „klikanju“, a tek su je prete e šišmiša zamijenile sa zvukovnim signalima ve e ja ine.

Postoje još dvije hipoteze o postanku ehokacije kao prilagodbe na stanište i lov plijena.

Prva je da se ehokacija razvila kao prilagodba na život u mraku pe ina. Zasniva se na injenici da ehokaciju imaju, osim podreda Microchiroptera, rod *Rousettus* podreda Megachiroptera te dvije vrste ptica (iopa *Collocalia* i *Steatornis carphensis*) koje borave u špiljama.

Druga hipoteza je da se ehokacija razvila kao posljedica no nog lova kukaca. U po etku su šišmiši letjeli i lovili plijen u sumrak no zbog velike konkurencije, razvila se potreba za novom ekološkom nišom. No ni lov omogu avao im je puno više plijena, a ujedno i manju opasnost od predatora. Za kretanje po mraku morali su razviti novi na in percepcije svijeta te se tako razvila ehokacija. U skladu s ovom hipotezom, potreba za novom ekološkom nišom bila je ja a od one za novim staništem. (Neuweiler G.: The Biology of Bats)

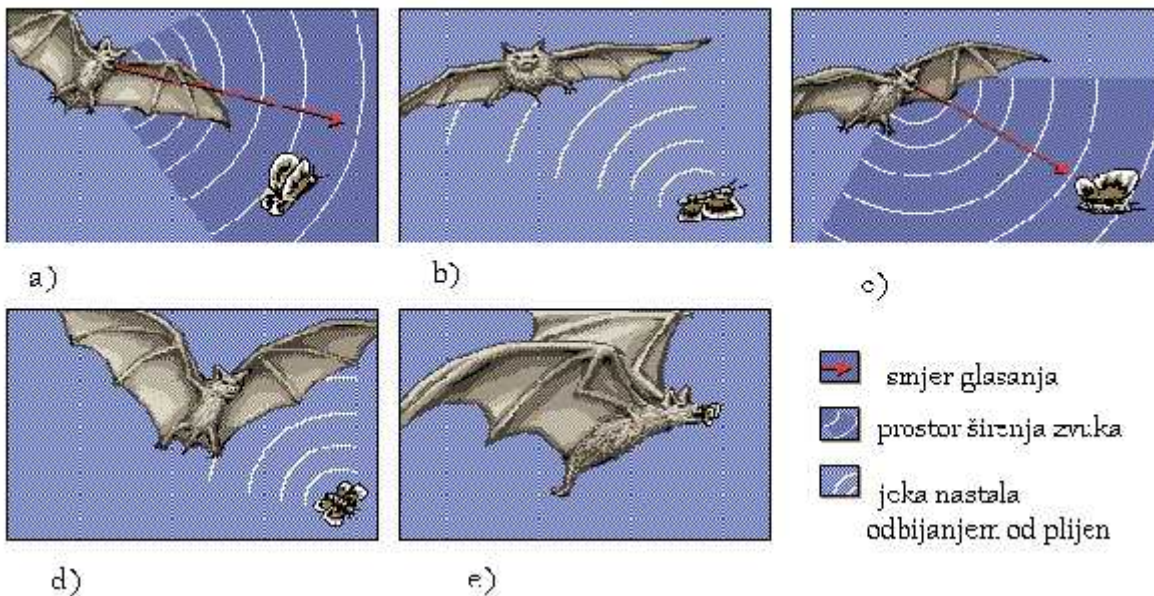
Rod *Rousettus*, podreda Megachiroptera, proizvodi zvukove potrebne za ehokaciju jezikom, a ne grkljanom, kako to ine sve vrste podreda Microchiroptera. Svaki put kada vrsta roda *Rousettus* podigne jezik, u trenutku kada on dodirne usnice, proizvede se kratki zvuk. Zvukovi nalik „kliku“ traju samo par milisekundi i sadrže široki spektar frekvencija, od 15 kHz do 150 kHz. Vrste roda *Rousettus* ehokaciju koriste samo tijekom leta po no i te u mraku špilje ili

šupljeg drveta, dok za orijentaciju po danu koriste svoje velike oči. (Ahlen E.: Identification of Bats in Flight)

Upravo zahvaljujući različitim metodama korištenja ehlokacije, neki znanstvenici smatraju da podredi Microchiroptera i Megachiroptera imaju različito filogenetsko podrijetlo.

IZVEDBA EHOLOKACIJE

Šišmiš u lovu na plijen emitira otprilike 4 do 12 zvukova u sekundi, razdvojenih u nepravilnim razmacima. Ovi zvukovi za potragu traju više od 10 milisekundi. Pauza između odašiljanja zvukova je mnogo duža nego što traju sami zvukovi tako da nikakve informacije nisu moguće u četiri petine leta. Takav ciklus naziva se radnim ciklusom. Šišmiš detektira plijen, počinje emitirati sve veće signale, neprestano smanjujući i intervale između njih. Dok traje progon plijena, ponavljanje signala se povećava i 40 do 50 puta u sekundi. Trenutak prije nego što ulovi plijen, proizvodi završno brujanje, koje se sastoji od 10 do 25 kratkih impulsa međusobno odijeljenih minimalnim intervalima. Tada se udio radnog ciklusa povećava na 90%. Cijela ova predstava detekcije plijena, progona i završnog brujanja traje tek 1 do 2 sekunde.



Slik

a 1. Lov plijena pomoću ehlokacije; a) šišmiš odašilje zvukove; b) odbijanje zvuka od plijen; c) ponovno emitiranje visokofrekventnih zvukova; d) točna lokalizacija kukca; e) konačan ulov (<http://encarta.msn.com/encyclopedia>)

OSOBINE ZVUKOVA EHOLOKACIJE

Eholokacija se zasniva na dvije osnovne komponente, odašiljaču i receptoru. Ulogu odašiljača ima grkljan (lat. *larynx*) koji proizvodi zvukove. Receptore čine uši koje primaju odbijeni zvuk te živčani sustav koji ga percipira i pretvara u živčane impulse.

Zvukovni signali šišmiša su jačeg intenziteta od eholokacijskih signala ostalih sisavaca koji se služe eholokacijom. Jači intenzitet signala omogućava veći doseg eholokacije, a time omogućava i više vremena za potrebnu reakciju na nailazeći objekt.

Eholokacijske zvukove može se proučavati sa tri različita aspekta: vremenskog (trajanje i stopa ponavljanja signala), frekvencije (visine tona) i jačine signala. Različite osobine proizvedenih zvukova omogućavaju determinaciju vrsta bez namjerno.

VREMENSKI ASPEKT

S obzirom da istovremeno slanje i primanje zvukova u eholokaciji nije moguće, odlazeći i zvukovi moraju biti kratki. U prosjeku traju od oko 100 milisekundi do 0,25 milisekundi. Razlikuju se dužine zvukova u različitim porodicama šišmiša. Tako por. *Vespertilionidae* karakteriziraju kratki signali, dok je za por. *Rhinolophidae* karakteristično duže emitiranje signala.

FREKVENCIJA

Frekvencija zvukova u eholokaciji jako varira unutar različitih vrsta. Kontrolirana je različitom napetosti glasnica. Kod većine šišmiša eholokacijski signali su nadzvučni, što znači da su iznad granica sluha čovjeka, iznad 20 kHz. Uglavnom šišmiši emitiraju zvukove u rasponu od 20 kHz do 100 kHz, no postoje vrste koje proizvode zvukove frekvencije iznad 200 kHz. Postoje i tri porodice šišmiša koji proizvode zvukove ispod 20 kHz što znači da ih čovjek može čuti. Mnogi zvukovni signali korišteni u eholokaciji su složeni, a sastoje se od osnovne frekvencije te njene harmonije.

Visoke frekvencije se brže smanjuju u zraku od niskih frekvencija pa je možda za uočljivo da šišmiši ne koriste niže, koje duže emitiraju određenu informaciju. Razlog za to je odnos veličine plijena i valne duljine signala eholokacije. Što je viša frekvencija zvuka, to je manja valna duljina. Frekvencija od otprilike 30 kHz ima valnu duljinu od otprilike 11,5 milimetara, što je veličina omanjeg moljca, čestog plijena šišmiša. Zvukovi niske frekvencije imaju dulje valne duljine koje bi se „savile“ oko malog plijena te ne bi došlo do povratne informacije.

JA INA SIGNALA

Ja ina signala se mjeri u decibelima (dB), dok je glasno a zvuka zapravo sama percepcija signala. Simmons je koriste i širokoopsežne mikrofone otkrio da, iako imaju signal jednake ja ine, neke je šišmiše mogu e otkriti sa 30 metara udaljenosti dok je za druge potrebna udaljenost od samo pola metra.

Izme u razli itih vrsta šišmiša postoji razlika u širini frekvencijskog podru ja. Razlikujemo dvije „širine“ frekvencijskog podru ja. Zvukovi uskog opsega, oni koji se ne šire na više od 10 kHz, esto nazivane i konstantnom frekvencijom (eng. Constant frequency, CF). Druga vrsta su zvukovi širokog opsega koji se šire na više od 10 kHz te se nazivaju zvukovima sa promjenjivom frekvencijom (eng. Frequency-modulated, FM).

Zvukovi uske frekvencije su korisni za detektiranje plijena, no ne daju nikakve informacije o njegovoj poziciji. Šišmiši te zvukove i koriste dok su u potrazi za plijenom. Pove avaju i širinu frekvencijskog podru ja, pove avaju i preciznost u odre ivanju to ne pozicije plijena. Postoje dva tipa zvukova širokog opsega, plitki, koji pokrivaju uski raspon frekvencije relativno sporo te duboki koji pokrivaju širok opseg mnogo brže. Plitke zvukove koriste mnogi šišmiši samo u fazi traženja plijena jer su oni osjetljivi na Dopplerov efekt ¹ pa ne daju preciznu lokaciju plijena ali su dovoljno dobri za njegovu detekciju. U fazi napada na plijen, šišmiši se koriste dubokim FM signalima za dobivanje precizne informacije o lokaciji plijena. Dakle šišmiši mogu kombinirati kako CF i FM signale, tako i plitke i duboke FM signale u samom lovu na plijen.

Eholokacija za razliku od vida je izrazito kratkog opsega, te je na informacije njome dobivene potrebno brzo djelovati. Fenton je radio pokuse sa vrstom *Eptescius fuscus* s namjerom da odredi kojom brzinom šišmiš može odrediti položaj plijena i izvesti napad. Došao je do otkri a da šišmiš vidi svoj plijen tek kada je od njega udaljen 1,5 sekundu pa mu preostaje jako malo

vremena za to no lociranje i sam ulov. Nekim vrstama, poput *Pteronotus parnellii*, potrebno je još manje vremena za cijeli in, samo 0,25 sekundi. (Neuweiler G.: The Biology of Bats)

¹ Promjena promatrane valne duljine vala zbog me usobnog približavanja ili udaljavanja izvora i promatra a. (wikipedia)

Kao i kod svih sisavaca, zvuk u obliku vibracije prvo podražava bubnji . Vibracije se tamo pretvaraju u mehani ke signale koji se prenose koš icama: eki , nakovanj i stremen. Signali se tada prenose na ovalni prozor i preko kojeg dopijevaju u unutarnje uho. U unutarnjem uhu se prenose u teku ini do bazilarne membrane gdje se pretvaraju u živ ane impulse. U tom obliku putuju u mozak i tamo se stvara „slika“ dobivena ehokokacijom. Kada bi šišmiši koristili frekvencije u opsegu ljudskog sluha, proizvodili bi zaglušuju u buku. Oni zato imaju poseban mehanizam kojim sprje avaju samooglušivanje. Dva miši a u srednjem uhu ublažavaju vibracije koje se prenose sa bubnji a na koš ice i time prigušuju zvuk. To su tensor tympani, koji smanjuje napetost bubnji a, i stapedius, koji mijenja kut pod kojim se stremen naslanja na ovalni prozor i . Ti su miši i jako dobro razvijeni kod šišmiša i njihovom kontrakcijom se smanjuje osjetljivost šišmiša na vlastite zvukove. Neke vrste poput vrste *Rhinolophus ferrumequinum* ne uju zvukove one frekvencije kojom se glasaju te na taj na in izbjegavaju mogu e samooglušivanje. (Ahlen E.: Identification of Bats in Flight)

Postoje i rodovi šišmiša koji koriste zvukove manjeg inteziteta, te se zbog toga nekad nazivaju i „šaptaju i šišmiši“. Zanimljivo, neki no ni kukci su tako er razvili sposobnost da uju ultrazvuk kao prilagodbu na što bolje prikrivanje od predatora. (www.ucmp.berkeley.edu)

RAZLIKOVANJE PREDMETA

Udaljenost i smjer kretanja označavaju poziciju mete u prostoru ali ne daju nikakve informacije o njenoj prirodi. Upravo iz tog razloga šišmiši često love kamen i bačene u zrak kao što love leteće kukce. Ipak, nakon što shvate da kamen i nisu na njihovom jelovniku, nauče ih razlikovati od pravog plijena. Razna istraživanja su dokazala da šišmiši porodice *Rhinolophidae* mogu razlikovati različite vrste kukaca na temelju njihove jeke. Dokazano je također da su šišmiši sposobni razlikovati dvodimenzionalne predmete od trodimenzionalnih.

VELIČINA PREDMETA

Najmanji objekt kojeg šišmiš može uočiti je promjera 1 milimetar. Plijen promjera 1 do 4 milimetra može opaziti sa udaljenosti od 35 centimetara i uloviti ga u vremenu od jedne sekunde. Postoje vrste koje mogu detektirati manji plijen, promjera 0,06 do 0,1 mm. Do danas nije moguće otkriti količinu energije zvuka koja se odbija od tako male predmete. Spektralne analize zvuka, koji se odbija od predmete različitih materijala, formi i veličina, su pokazale složene interakcije odbijenih signala. Stvaraju se efekti poput tunela energije oko tako malih objekata koji daju objašnjenje kako šišmiši mogu opaziti tako sitne predmete na temelju njihove jeke.

MATERIJAL I OBLIK

Nakon dugog učenja, šišmiši su sposobni razlikovati predmete u obliku trokuta, kruga ili pravokutnika, te kocke oštih ili zaobljenih kutova. Također mogu razlikovati trodimenzionalne mete iste veličine u obliku valjka, kocke i piramide. Pokazuju sposobnost razlikovanja predmeta jednakih veličina i oblika ali različitih materijala. Još uvijek nije poznat način na temelju kojeg ih raspoznaju.

STRUKTURA PODLOGE I „BOJE JEKE“

U normalnim uvjetima, šišmiš nikada ne slijeće na glatki zid. O to je da povratna jeka daje informacije o teksturi podloge. Razni pokusi su dokazali da šišmiši mogu razlikovati tanjure (koji u ovom slučaju „glume“ podlogu) u kojima su probušene rupice dubine 8 milimetara od onih sa 7 milimetara dubokim rupicama. No, istraživanja su pokazala da vrsta *Megaderma lyra* može razlučiti tanjure pokrivena sa različito velikim zrnjem samo ako je razlika u veličini estica veća od 2 milimetra. Zapaženo je da reflektirani signali imaju vrhunce i nule na različitim mjestima spektra širokoopsežne jeke ovisno o sastavu promatrane podloge. Ta se pojava naziva bojom jeke.

Na temelju određene „boje“ odbijenog zvuka, šišmiši dobivaju informaciju o strukturi podloge.

(Neuweiler G.: The Biology of Bats)

RAZNOLIKOST I RAZNOLIKA UPOTREBA EHOLOKACIJSKIH ZVUKOVA

Eholokacijske signale šišmiši koriste jednako za komunikaciju kao i za orijentaciju te pronalaženje plijena. Modifikacije signala omogućuju nekim šišmišima život u raznim staništima. Kao što možemo pretpostaviti, eholokacija je fleksibilna. Zanimljeno je raznolikost eholokacijskih zvukova ovisno o geografskoj raširenosti unutar iste vrste. Iako osam od dvanaest vrsta pokazuje geografske varijacije eholokacijskih zvukova i to najmanje od 3 kHz.

Moguće su i pojedinačne varijacije eholokacijskih zvukova, kao kod npr. mužjaka vrste *Euderma maculatum*. Njegovi su signali niže frekvencije i dužeg trajanja od ženke iste vrste. Također je primijećena raznolikost eholokacijskih zvukova kod vrste *Myotis evotis* u Britanskoj Kolumbiji, kod koje zvukovi variraju u okvirima 86 kHz do 97 kHz i od 54 kHz do 97 kHz. Neke su varijacije nastale kao prilagodba na jedinke iste porodice. Primijećeno je kod jedinki porodice *Vespertilionidae* kada idu jedna ususret drugoj da smanje trajanje zvukova i produlje intervale između u njima. Jedinke vrste *Lasiurus borealis* znaju promjene glasanje u prisustvu drugih jedinki. U određenim okolnostima proizvedu dodatni impuls u svom glasanju, dok neki smanje frekvenciju i dodaju na kraju upozoravaju i klikta. Nekim šišmišima glasanje drugih jedinki pomažu u pronalasku dnevnih duplji u drvetu, mjesta za razmnožavanje, hibernaciju ili pak lokacija sa puno plijena. Solitarne vrste poput *Euderma maculatum* reagiraju agresivno na zvukove jedinki iste vrste. One tada ili napadnu odašiljača signala ili naglo pobjegne s mjesta susreta. (Ahlen E.: Identification of Bats in Flight)

Eholokacijski zvukovi također mogu imati ulogu zvukovne osobne iskaznice. Najčešće je ta uloga zastupljena kod majki i mladunčadi pojedinih vrsta koje se prepoznaju na taj način. Također može poslužiti i za obilježavanje omiljenog mjesta u prenoištu. (http://en.wikipedia.org/wiki/Animal_echolocation)

Fleksibilnost eholokacijskih zvukova može se zamijetiti kod šišmiša koji prelaze iz otvorenog prostora u zatvoren, pun vegetacije, pa se zbog toga mijenja i frekvencija njihovog glasanja. (Neuweiler G.: The Biology of Bats)

MORFOLOGIJA LICA I UŠKI U ULOZI EHOLOKACIJE

U najmanju ruku neobičajna lica šišmiša oduvijek su bila predmet straha i zgražanja. No njihov izgled nije nimalo slušan, on ima veliku ulogu u eholokaciji. Kada jedinke porodice *Mormoopidae* eholociraju, pretvore svoje usne u male megafone koji tako usmjeravaju zvuk (slika 1.). Slično se ponašaju i jedinke porodice *Rhinolophidae* koje ispuštaju zvuk kroz nosnice, a pri izlasku ga usmjeravaju nabori kože nalik listi ima, u pravom smjeru. Upravo ti nabori kože i njihova uloga u životu šišmiša su razlog mnogim pretpostavkama. Dok jedni, poput Arista, smatraju da je njihova uloga u pronalasku plijena, drugi, čije mišljenje zastupa i Bogdanowicz, smatraju da je izgled nabora kože u korelaciji sa prehranom. Nabori kože na usnama nisu jedini tjelesni dodaci kojima je uloga poboljšavanje eholokacije. Neki šišmiši imaju nabore u vanjskom dijelu uške koji se nazivaju *tragus*. Oni omogućavaju nastajanje dvostruke jeke i time postižu bolju lokalizaciju. Uške, *pinnae*, imaju ulogu u usmjeravanju i pojačavanju zvuka. Oblik uške je često povezan sa zvukom kojeg proizvodi određena vrsta eholokacijom, tako da one pojačavaju frekvenciju njenog glasanja, a ujedno i frekvenciju dobijene jeke. (Neuweiler G.: The Biology of Bats)



Slika 2. *Pteronotus parnellii* vrsta porodice

Slika

3. Jedinka porodice *Rhinolophidae*
sa neobičnim kožnim naborima

Mormoopidae koristi usnice kao
megafone za potrebe ehlokacije

(www.casadosmorcegos.org)

(www.mammalogy.org)

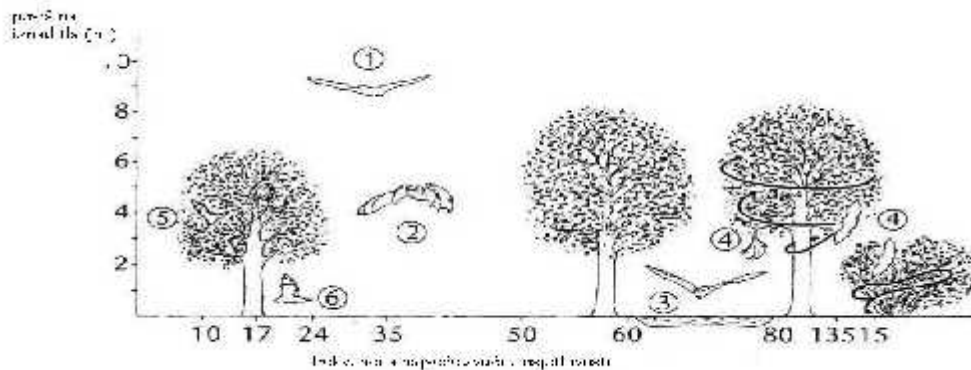
ADAPTACIJE NA RAZLIČITE BIOTOPE

Šišmiše se ne može naći na svim mjestima na kojima obitava njihov plijen. Oni obitavaju samo na pojedinim mjestima. Stil letenja, oblik krila i na in ehlokacije pojedinih vrsta usko je povezan sa staništem na kojem obitavaju. Slika 4. pokazuje šest različitih područja lova plijena simpatičkih vrsta². Svejedno šišmiši mogu mijenjati svoje tehnike lova i prilagoditi se novom staništu kada je nestašica hrane u njihovom svakodnevnom obitavalištu. Primjer takve prilagodbe

² Simpatičke vrste su vrste koje su nastale unutar istih obitavališta, prilikom čega se među srodnim populacijama, bez prostorne izolacije, stvore razni oblici sve veće reproduktivne odvojenosti. (Dunja Klepac)

je vrsta *Myotis myotis* koja ina e lovi kukce na otvorenim površinama, no u posebnim situacijama može loviti i kukce uz šumsko tlo.

Eholokacija u otvorenim prostorima je jednostavnija od one u prostorima bogatim vegetacijom, jer jeka u otvorenim prostorima naj eš e potje e od samog plijena, dok se eholokacijski zvukovi u šumi odbijaju kako od plijen tako i od liš e i bogatu vegetaciju. (Neuweiler G.: The Biology of Bats)



Slika 4. Frekvencija najve e zvu ne osjetljivosti je u korelaciji sa podru jem lova odre ene vrste šišmiša. Na zvukove najniže frekvencije najosjetljivije su vrste koje love iznad šumskog svoda (1). Tako er se koriste niskofrekventnim zvukovima vrste koje skupljaju plijen sa podloge (5 i 6). Na visokofrekventne zvukove najosjetljivije su vrste koje love svoj plijen u krošnjama drve a (4) ili pak iznad tokova rijeka.

(Gerhard Neuweiler: The Biology of Bats)

OTVORENI PROSTORI

Mnoge porodice poput *Molossidae*, *Embalonuridae* i *Vespetilionidae* love svoj plijen u otvorenim prostorima kao što su livade, prostor iznad šumskog pokrova ili čak na 600 metara visine. Šišmiši koji love u takvim prostorima veoma su brzi letači, a kada love, ne poznaju nikakve prepreke osim plijena kojeg proganjaju. Većina ih ima uska krila. Neki od njih su dugotrajni letači i mogu letjeti bez prestanka i do sedam sati. Koriste se dugim zvukovima niske frekvencije i visokog jačine. Proučavano je šest vrsta koje se koriste eholokacijskim zvukovima ovih osobina, za lov na otvorenim prostorima i otkriveno je da čak pet od šest vrsta koristi zvukove sa frekvencijom koju mogu čuti i ljudi. Vrste koje se koriste zvukovima najnižih frekvencija love plijen iznad šumskog svoda. S obzirom da se niskim frekvencijama teško čuo avaj maleni kukci, otkriveno je da se ovi šišmiši hrane nešto većim plijenom. Za povećanje prostora koji mogu „skenirati“ eholokacijom, šišmiši otvorenih prostora imaju dobro razvijene velike uške. One im pomažu na način da fokusiraju veliku količinu zvuka na membrane bubnja, pojačavaju i vibraciju, a time i samu jačinu odbijenog zvuka.

RUBNI PROSTORI

Većina šišmiša podreda Microchiroptera lovi na ovom tipu staništa. Rubni prostori predstavljaju rubne dijelove šume, mjesta uz tokove rijeka, uz rubove litica ili čak uz isušena korita. Tipična lovišta ovih šišmiša su predjeli koji su sa jedne strane prepuni prepreka i pojedinosti dok su sa druge strane veliki „isti“ prostori. Šišmiši koji se hrane kukcima u ovakvim staništima, često love one blizu vegetacije, no rijetko lete izmeću samih biljaka. Let ovakvih šišmiša je često spor, energetski isplativ i veoma okretan. Krila su im uglavnom dugačka sa kratkim, oblim vrhovima. Karakterizira ih let koji ne traje duže od 120 minuta. Porodice koje love u ovakvim predjelima su: *Mormoopidae*, *Phyllostomidae*, *Rhinolophidae*, *Vespertilionidae*.

Eholokacijski zvukovi ovakvih šišmiša su kratki i intenzivni. Povećanjem opsega svojih zvukova, povećava se i preciznost lokalizacije plijena. Neki to čine dodajući i harmoniju na već postojeće zvukove, dok drugi povećavaju opseg frekvencija zvuka.

ZATVORENI PROSTORI

Veliki broj šišmiša lovi u zatvorenim prostorima poput tropskih šuma, izbjegavaju i grane i lišće. Jeka koja nastaje odbijanjem eholokacijskih signala od plijen miješa se sa jekom ostalih predmeta poput lišća, žbunja. Porodice koje žive i love u takvim staništima su: *Emballonuridae*, *Nycteridae*, *Megadermatidae*, *Rhinolophidae*, *Phyllostomidae* i *Vespertilionidae*. Prehrana ovakvih šišmiša je raznolika, sastoji se od beskralješnjaka i malih kralješnjaka, do voća i cvjetnog nektara.

Njihov je let spor i veoma okretan. Krila su im široka sa okruglim završecima. Ovakav oblik zahtijeva veliku potrošnju energije, koja je i rezultat mogući lebdjenja i veoma složenih okreta. Uglavnom kratko lete dok neke vrste čak „sjede“ i čekaju plijen. Afrička vrsta *Cardioderma cor* leti svega 5 sekundi. Većina šišmiša ovog habitusa se koristi kratkim zvukovima širokog opsega i male jačine. Ovakva način eholokacije im omogućava precizne informacije o plijenu ali i o preprekama na njihovom putu. Koriste signale male jačine jer takve zvukove ne može čuti plijen. Među stanovnicima zatvorenih prostora mnogo je onih koji svoje eholokacijske zvukove emitiraju kroz nosnice.

Neke vrste koriste osim sluha i druga osjetila poput mirisa za detekciju hrane. Ehlokacija im tada služi za pronalazak, a miris za točno lociranje plijena. Za detaljne informacije koriste se visokofrekventnim, višestrukoharmonijalnim zvukovima. Neke vrste pronalaze svoj plijen osluškiju i njegovo glasanje. Tako na primjer vrsta *Trachops cirrhosus* pronalazi svoj plijen, žabe, zahvaljujući i njihovom ljubavnom zovu. No i pri tome se ipak služi ehlokacijom pri preciznom lociranju.

Većina vrsta zatvorenog područja su sakupljači i koji pobiru svoj plijen sa površine vegetacije, kamenja ili tla. Takve vrste imaju iznimno velike ušne sa zapanjujućom mogućnošću lokalizacije niskofrekventnih zvukova.

(Neuweiler G.: The Biology of Bats)

ZAKLJUČAK

U ovom radu težište sam stavila na eholokacijske zvukove i njihove karakteristike, a ne toliko na anatomske i fiziološke aspekte same eholokacije. Razlog tome je složenost eholokacijskog sustava i njegovo nepotpuno poznavanje. Mnogo je postignuto na tom polju od trenutka kada je Spallanzani otkrio neobičnu orijentaciju pomoću sluha kod šišmiša, a razvoj tehnologije nam je omogućio da uopće spoznamo njeno postojanje. No za potpuno otkriće morat ćemo još pričekati.

Fizika zvuka veoma je složena, a širok spektar frekvencija, jačina i modulacija zvuka dodatno otežava njeno potpuno otkrivanje.

Apsolutna uloga eholokacije još uvijek nije poznata, upravo zbog jednake zastupljenosti u orijentaciji i komunikaciji kao i u hvatanju plijena. Ono što znamo je da eholokacija ima glavnu ulogu u životima ovih malih letelica sisavaca.

LITERATURA:

Neuweiler G.: The Biology of Bats (str. 140.-210.)

Ahlen E.: Identification of Bats in Flight (str. 6-22.)

www.casadosmorcegos.org

www.mammalogy.org

http://en.wikipedia.org/wiki/Animal_echolocation

http://hr.wikipedia.org/wiki/Dopplerov_efekt

www.speleologija.hr/znanost/sismisi/index.html

www.ucmp.berkeley.edu

SAŽETAK

Eholokacija je za šišmiše ono što je vid za ljude, osnovni način percepcije svijeta. Naoko jednostavan princip odašiljača i receptora, zapravo je složen sustav odašiljanja različitih zvukovnih signala i primanja jeke istih. Eholokacijski zvukovi imaju mnogo karakteristika koje se razlikuju između porodica, a katkada i između jedinki iste vrste. Upravo zahvaljujući tome moguće je determinacija vrsta otkrivanjem eholokacijskih zvukova.

Eholokacijom se šišmiši koriste za orijentaciju u prostoru, lov plijena te za komunikaciju sa ostalim jedinkama. Cijela morfologija glave šišmiša uložena je u što bolje eholokacije. Upravo iz tog razloga postoje razni tjelesni privjesci koji omogućavaju što bolju proizvodnju i usmjeravanje zvuka. Šišmiši se koriste i ostalim osjetilima poput njuha, pri lovu plijena, no eholokacija im omogućuje potrebnu preciznost. Zvukovi kojima se koriste pri eholociranju su veoma visokih frekvencija, a time i ne čuju ljudi. Upravo se zbog toga u početku mislilo da su šišmiši tihe životinje, no danas znamo da proizvode zvukove izrazito velike glasnoće.

Eholokacijski zvukovi su veoma fleksibilni, a šišmiši ih mogu modulirati ovisno o području na kojem se nalaze. Tako razlikujemo glasanje vrsta koje love na otvorenim prostorima od onih koje su lovišta uz rub šume ili pak usred guste vegetacije.

SUMMARY

Echolocation is for bat what vision is for people, the basic way to get the perception of the world. What looks like a simple principle of transmitters and receptors, is actually a complex system of sound transmission of different signals and receiving an echo of the same. Echolocation sounds have many characteristics that differ between families, and sometimes even between individuals of the same species. Thanks to this, determination of the species is possible by reading echolocation sounds. For those purposes they can alter frequency and/or intensity of the ultrasound signals.

Bats use echolocation for orientation in space, catching the prey or to communicate with other individuals. The entire morphology of the bat's head is based on producing better echolocation signal. Precisely for this reason there are various physical extras that allow bat a better production and sound focusing. Bats use other senses as well, such as smell, when hunting prey, but echolocation gives them the necessary precision. Echolocation calls are mostly high-frequency signals, and thus silent to people. This is why people initially thought that the bats were quiet animals, but today we know that they produce very loud sounds while echolocating. These sounds are very flexible, and bats can modulate them depending on the foraging area. Thus, we can distinguish species that forage in open spaces from those who hunt along the edge of the forest or in the middle of dense vegetation.